

시간행동 행태를 이용한 영업용 운전자들의 이산화질소 개인 노출량 예측

방용남·손부순[†]·양원호*·박종안·장봉기

순천향대학교 환경보건학과

*서울대학교 보건대학원 환경보건학과

Estimation of Exposure to Nitrogen Dioxide in Professional Drivers Using Time Activity Pattern

Yong Nam Bang, Bu Soon Son[†], Won Ho Yang*, Jong An Park and Bong Ki Jang

Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University

*Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University

(Received 3 January 2001 ; Accepted 21 February 2001)

ABSTRACT

Personal nitrogen dioxide (NO₂) exposures for 31 professional drivers were measured using passive sampler and time activity diary in Asan and Chunan area, and were estimated using time-weighted average model. Mean concentrations of driver's indoor and outdoor were 24.7 ± 10.7 ppb and 23.3 ± 8.3 ppb, respectively with indoor/outdoor of 1.1. Mean personal NO₂ exposure was 30.3 ± 9.7 ppb. Personal NO₂ exposures were strongly correlated with indoor car NO₂ levels (R²=0.80) rather than residential indoor NO₂ level (R²=0.55), and outdoor NO₂ level (R²=0.50). The driver's NO₂ exposures using LP-gas with 24.4 ± 8.0 ppb were statistically different from those using diesel with 36.3 ± 14.1 ppb (p<0.01). The effect of driver's smoking for personal NO₂ exposure was not found. It was considered that the main NO₂ exposure in driver is transportation. Since drivers mostly spent their times in indoor and inside car, time-weighted average model could be used to estimate the personal NO₂ exposure using time activity diary. Though we did not measure all microenvironments, the estimated personal NO₂ exposures with 26.9 ± 10.2 ppb were statistically correlated with measured personal NO₂ exposures with 30.3 ± 9.7 ppb (R²=0.89). The mean and standard deviation of personal NO₂ exposure using Monte-Carlo simulation were 26.6 ± 7.2 ppb.

Keywords : Professional driver, Nitrogen dioxide, Exposure, Time-weighted average

I. 서 론

대기오염은 바람 등에 의한 자연적인 희석률이 크고, 사회적 인식 확대 및 각종 환경규제 등으로 대기오염 수준은 억제되고 있으나, 실내공기는 한정된 공간에서 인공적인 설비를 통하여 오염된 공기가 계속적으로 순환되면서 오염 농도가 인체에 유해한 영향을 미칠 수 있을 정도로 증가될 수 있고 가정의 경우도 축적된 화학물 증기, 연료, 기구에서 발생하는 부산물에 의해 실내환경이 악화되고 있다.¹⁾ 또한 1970년대 이후 에너지 보존을 위한 다양한 산업기술이 만들어 낸 새로운 건

축자재가 공공 건물뿐만 아니라 일반주택에도 사용되고 있으며, 이와 같은 새로운 건축자재에서 여러 다양한 오염물질이 방출되고 있다.²⁾ 경제 수준이 향상되면서 다양한 생활용품을 사용함에 따라 실내오염물질의 방출량이 증가되고 있다.³⁾

에너지 절감률을 높이기 위한 건물의 밀폐화가 진행되면서 선진 각국의 사무실에서 일하는 직장인들 가운데, 일시적 또는 만성적인 건강과 관련된 증상을 호소하는 사례가 증가되고 있다. 이들 증상 중 두통, 안질, 후두염, 알레르기성 질염, 어지러움 등은 실내공기오염에 의한 것으로 밝혀지고 있으며, 이것을 빌딩증후군(SBS: sick building syndrome) 또는 빌딩 관련 질병(BRD: building related diseases)이라 한다.⁴⁾ 그리고, 실내의 오염물질의 농도가 낮더라도 장기간 노출됨에 따른 전체 노출량을 보면 건강에 커다란 영향을 미치

[†]Corresponding author : Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University
Tel: 041-530-1270, Fax: 041-530-1272
E-mail: sonbss@sch.ac.kr

는 것으로 알려져 있다.⁵⁾

질소산화물중 이산화질소(NO₂)는 고온의 연소과정에서 발생하는 부산물로 차량 및 산업장 등에서 발생되고 있고 도심지역에서의 주 발생원은 자동차이며 이 중에서도 디젤유 차량에서 질소산화물이 많이 배출되고 있다.⁶⁾ 실내에서 이산화질소의 농도는 가스레인지, 난방기, 흡연에 주로 영향을 받는데, 가스레인지에서 발생하는 이산화질소의 발생량은 사용기간이 길어질수록 증가한다.⁷⁾ 또한 난방기구의 작동요인, 연료의 투입율, 실내 습도 및 온도도 이산화질소 발생량에 영향을 준다. 그리고, 실내 이산화질소의 농도는 공기환기량(air exchange rate)과 실내 표면 반응과 같은 특성의 영향도 받는 것으로 나타났다.⁸⁾

이산화질소(NO₂)는 호흡기 증상과 관련된 각종 질환을 유발시키는 것으로 보고되고 있다.⁹⁾ 실험실에서 조사된 NO₂의 생체실험결과에 의하면 NO₂는 호흡기와 기관지 계통에 영향을 주는 것으로 보고되었고, Mohensin 연구의 경우도 가정 연소기구에서 발생하는 NO₂농도가 기도에 영향을 주는 것으로 나타났다.^{10,11)} 임상연구에서는 기관지 천식질환자가 0.1 ppm의 NO₂에 1시간 노출된 후 기도저항의 증가 및 노출 후 에어로졸 흡입에 대한 기도반응성의 향진을 볼 수 있었고, 0.3 ppm의 NO₂에 2시간 폭로된 건강자의 혈중 히스타민이 증가된 연구 결과도 보고되고 있다.¹²⁾ 이처럼 이산화질소와 같은 발생원이 다양한 대기오염물질의 농도와 건강과의 관계를 알기 위해서는 환경대기농도만으로는 충분하지 않으며 실내농도의 파악도 필요하다.

인간은 하루 24시간 중 대략 80% 이상을 실내(가정, 사무실, 실내작업장, 공공건물, 지하시설물, 상가, 음식점, 자동차 등)에서 생활하기 때문에 실내공기질은 개인의 건강에 대단히 중요하다.¹³⁾ 공기 오염물질 노출은 각 개인의 실내환경(집, 차량, 사무실 등)에서의 활동시간과 그 미세환경의 농도의 곱으로 예측할 수 있다.¹⁴⁾ 그러나, 개인의 활동범위가 다양하며 각종 직업 종류에 따라서 매일의 생활범위가 다르기 때문에 공기 오염물질과 연관된 위해성평가(risk assessment)에서 정확한 노출평가는 어려운 형편이다.¹⁵⁾ 개인의 노출평가는 직접적 또는 간접적으로 결정될 수 있는데, 직접적인 방법으로 개인의 호흡기 근처에서 측정하는 방법과 생체지수(biomarkers)를 이용할 수 있으며, 간접적인 방법으로는 실내 및 실외 공기농도를 측정하여 이용한다.¹⁶⁾

본 연구에서는 실내환경의 하나인 차량 실내공기, 직업 운전자 각 개인 주택의 실내 및 실외의 NO₂ 농도를 측정하였고, 동시에 시간활동 행태를 조사하여 운전자들의 NO₂에 대한 노출정도를 평가하였다. 또한 시간

가중치 평균 모델을 적용하여 NO₂ 개인노출을 예측하였고, 지역 특성에 따른 농도 분포를 비교하기 위해 천안지역 운전자와 아산지역 운전자를 대상으로 하였으며, 차종에 따른 영향을 파악하기 위해 LP-gas를 연료로 사용하는 차량과 디젤을 연료로 사용하는 차량을 조사대상으로 하여 비교하였다. 따라서, 연구의 결과는 대도시 차량 배출가스에 의한 대기오염에 노출될 확률이 높은 것으로 추정되는 직업 운전자들의 이산화질소 노출특성과 수준을 측정·예측하여 환경위해성 평가에 기초자료를 제공할 것이다.

II. 조사지역 및 방법

1. 조사지역 및 대상

조사기간은 2000년 7월 28일부터 8월 5일까지 10일간 이었고, 측정된 대상은 아산지역 직업 운전자 14명과 천안지역 직업 운전자 19명이었다. 아산시 영업용 차량은 운전에서 사용된 디젤연료 차량 2대와 LP-gas연료 차량 12대였고, 천안시 영업용은 디젤연료 차량 6대와 LP-gas연료 차량 11대였다.

2. 측정 및 분석방법

이산화질소의 측정은 영업용 운전자 개인(personal), 운전자의 실내 및 실외, 차량 실내, 4곳을 측정하였다. 시간활동 행태와 차량특성 및 주택특성에 관한 설문지 조사를 병행하여 실시하였다. 지역마다 영업운전방식이 달라 이산화질소 측정시간은 대략 아산지역 48시간, 천안지역 28시간, 디젤을 연료로 사용하는 차량은 24~48시간동안 측정하였다.

시간활동표(time-activity table)는 오전 6시(06:00)부터 오후 12시(24:00)까지는 30분 단위로 표시(√)하도록 설명하였으며, 오후 12시부터 오전 6까지는 1시간 단위로 표시(√)하였다. 시간활동표에서는 실내는 모든 주택, 차량, 상점, 또는 백화점 등의 실내공간을 의미하며, 실외는 마당, 야외 운동장, 야외 수영장, 산보 등 실외공간을 의미하였다. 실내에는 주택, 사무실, 실내의 다른 공간 세 부분으로 나누어 표시하도록 하였으며, 실외는 주택근처, 사무실 근처, 실외의 다른 장소 세 부분으로 나누었다. 또한 시간단위가 30분이었기 때문에, 참여자가 30분 동안 두 장소에 있었다면 두 장소 모두에 표시를 하도록 설명하였다. 시간활동표를 수거하여 각 장소별로 표시한 곳을 계수하여 참여자 각자의 각 장소별 보낸 시간을 계산하였다.

측정에 사용된 개인용 측정기구는 배지모양(badge type)의 수동식 시료채취기(Toyo Roshi Kaisha, Ltd)를

사용하였다.¹⁷⁾ 수동식 시료채취기는 자연적인 기류를 이용하여 확산(diffusion)과 투과(infiltration)라는 물리적인 과정과 반응에 의한 화학적 반응을 이용하여 실내와 실외의 NO₂를 측정하는 기구이다. 수동식 시료채취기는 작고(5×4×1 cm³) 가벼운 장점을 지니고 있다(15 g). 수동식 시료채취기 내부에 있는 셀룰로우스 필터에 triethanolamine 용액이 흡수되어 NO₂를 포집한다. 농도 계산에 이용된 물질이동계수(mass transfer coefficient)는 0.10 cm/sec를 이용하였으며, NO₂의 농도분석은 photo-spectrometer(Shimadzu UV-1201)를 이용하여 정량분석을 하였다.

개인노출 측정은 수동식 시료채취기를 옷가에 달게 하였고, 차량 실내의 뒷 좌석 중앙, 주택 실내의 가스 사용지역인 부엌을 피하기 위해 거실 중앙 지면으로부터 1 m 이상 되는 위치에 설치하도록 하였으며, 주택 실외는 여름철 비를 피할 수 있는 곳에 설치하도록 사용방법과 직접 설명하였다. 또한 지역에 따른 전반적인 농도값을 보기 위해서 아산 및 천안에 각각 터미널부근에서 3곳과 역전부근 3곳에서 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 설문지 조사내용 및 주택특성

전체 평균연령은 35.8±7.1세, 참여자 평균 가족수는 4.0±1.1명이었다. 총 참여자 31명의 실내 NO₂ 농도와 관련성 있는 주택특성을 Table 1에 나타내었다. 총 참여자 31명의 주택은 모두 취사도구의 연료로 가스렌지를 사용하였고 주택 실내 흡연자는 24명이었다.

2. 이산화질소 농도

이산화질소의 측정은 영업용 운전자 개인노출, 차량

Table 1. House characteristics

	No. of house	
	Asan n=14	Chunan n=17
Gas range		
Yes	14	17
No	0	0
Smoker		
Yes	10	14
No	4	3
Structure		
Single detached house	3	3
Apartment	11	14

실내, 운전자의 주택 실내 및 실외 4곳을 측정하였고, 기타 지역으로 차량이 많고 운전자들이 자주 있는 역전과 터미널을 동시에 측정하였다. 천안 역전의 NO₂ 농도는 33.3±4.7 ppb, 터미널은 41.7±5.8 ppb였고, 아산 역전 주변의 NO₂ 농도는 24.6±5.3 ppb, 터미널은 38.4±1.7 ppb의 농도값을 나타내었다. 영업용 운전자들의 주택 실내 및 실외의 평균 NO₂ 농도는 24.7±10.7 ppb와 23.3±8.3 ppb였고, 실내/실외 비의 평균은 1.1이었다. 실내의 평균 농도가 실외보다 높은 것은 이산화질소 발생원이 실내에 있을 것으로 생각되며, 그 발생원은 가스렌지와 21명의 흡연자가 주택 실내에서 흡연 때문인 것으로 생각된다.

차량 실내의 이산화질소 농도는 평균 27.4±11.0 ppb였으며, 영업용 운전자 각 개인 주택의 실외공기 농도(23.3±8.3)에 비교해서 높은 값을 나타내었다. 개인의 이산화질소 노출은 평균 30.3±9.7 ppb였으며, 김 등¹⁸⁾의 연구에 의하면 1991년도에 연구된 서울시 택시운전자들의 이산화질소 개인노출의 농도 55.4±0.11 ppb에 비해서 낮은 값을 보였으며, 이 결과는 대도시인 서울시와

Table 2. NO₂ concentrations in indoor, outdoor, inside car and personal

(unit: ppb)

n=31	Indoor	Outdoor	Indoor/outdoor	Inside car	Personal
Mean±S.D	24.7±10.7	23.3±8.3	1.1±0.2	27.4±11.0	30.3±9.7

Table 3. Time activity patterns of objectives

		Indoor			Outdoor			Transport
		Home	Office	Other	Near home	Near office	Other	
Asan (n=14)	Mean hours	17.25±4.4	4.70±4.5	2.5±1.8	1.54±1.1	2.12±2.4	2.45±1.1	17.58±4.4
	%	36.9	11.6	4.8	2.8	4.3	5.2	34.7
	Total %		53.3			12.3		34.7
Chunan (n=17)	Mean hours	2.36±2.7	1.36±2.8	1.36±1.3	0	0.86±1.3	2.50±2.7	19.54±6.6
	%	17.4	7.1	5.5	0.5	4.7	6.8	58.1
	Total %		30.0			12.0		58.1

지방도시의 대기오염도가 낮기 때문일 것으로 여겨진다.

3. 시간활동도

이산화질소 농도측정과 함께 조사된 영업용 택시 운전자들의 시간활동을 조사한 결과를(Table 3)에 나타내었다. 운전자들은 실내에서 보내는 시간이 양 등¹⁵⁾이 조사한 호주의 사무실 근로자(88.3%)와 한국의 근로자(83.8%)에 비해서 상대적으로 적었으며, 직업적인 요인으로 대부분의 시간을 차량 실내(아산 34.7%, 천안 58.1%)에서 보냈다. 또한 운전자들이 주택에서 보낸 시간은 아산에서 약 17.3시간 천안에서 약 2.4시간이었다. 천안 운전자들은 실외 활동 중에서, 기타 공간에서 보낸 활동이 차량 실내에서 보낸 시간 다음으로 높았다. 이와 같은 결과는 운전자들의 NO₂ 개인노출의 경우는, 대부분의 시간을 차량에서 보내고 있기 때문에 차량의 실내농도에 영향을 주로 받을 것으로 예상되었다.

4. 이산화질소 개인노출과 관련요인의 상관성 분석

이산화질소의 개인노출과 영업용 운전자의 개인주택

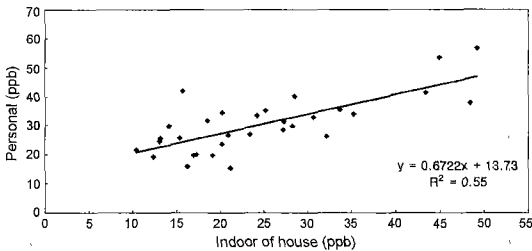


Fig. 1. Relation between indoor level of house and personal exposure of NO₂.

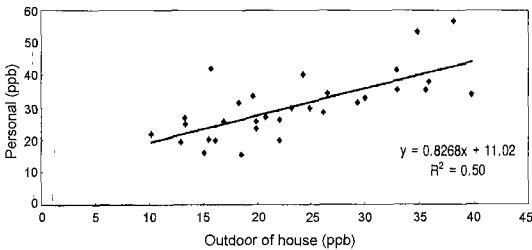


Fig. 2. Relation between outdoor level of house and personal exposure of NO₂.

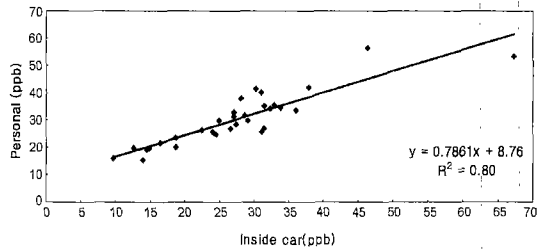


Fig. 3. Relation between inside car level and personal exposure of NO₂.

실내 및 실외농도 그리고 차량 실내농도와와의 상관성을 분석하였다. 영업용 운전자의 NO₂ 개인노출은 운전자의 주택 실내(R²=0.55) 및 실외(R²=0.50) NO₂ 농도보다 차량 실내(R²=0.80) NO₂ 농도와 더 상관성이 높았다(Fig. 1-3). 영업용 운전자들은 대부분의 시간을 차량 실내에서 보내기 때문에, NO₂ 개인노출은 차량 실내농도와 높은 연관성을 보였다(p<0.01).

영업용 운전자들의 이산화질소 개인노출은 차량 실내농도에 가장 큰 영향을 받고있는 것으로 나타났다. 김등¹²⁾의 연구에 의하면 가정주부의 이산화질소 노출은 주택 실내농도에 영향을 주로 받고 있음이 보고되었고, 사무실 근로자들의 이산화질소 개인 노출농도도 주택 실내농도에 큰 영향을 주로 받는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과를 보면 직업적 요인에서 그 발생원이 있을 경우에는 개인노출에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

5. 지역 및 차량에 따른 개인노출

(1) 아산지역과 천안지역 비교

본 연구는 지역적 차이를 고려하여 아산 지역과 천안 지역의 영업용 운전자의 이산화질소 농도를 측정하였다(Table 4). 천안지역이 아산지역보다 도시지역의 규모가 크기 때문에 실외농도가 상대적으로 약간 높았으나, 아산지역과 천안지역의 영업용 운전자들의 이산화질소 개인노출은 통계학적으로 유의한 차이가 없었다. 이 결과는 운전자들의 운전 활동 범위가 넓기 때문에 이산화질소의 개인노출의 차이가 없었던 것으로 생각된다.

(2) 디젤차량과 LP-gas차량 비교

연료를 디젤로 사용하는 차량과 LP-gas로 사용하는 차량의 영업용 운전자들의 이산화질소 개인노출 농도

Table 4. NO₂ concentrations in Asan and Chunan area

(unit: ppb)

	Indoor of house	Outdoor of house	Inside car	Personal exposure
Asan (n=14)	23.1±11.2	20.2±8.0	20.2±8.7	26.9±11.1
Chunan (n=17)	26.7±10.4	26.5±7.7	31.6±10.5	33.1±7.7

Table 5. NO₂ concentrations in diesel-using and LP-gas using vehicles

(unit: ppb)

	Indoor of house	Outdoor of house	Inside car	Personal exposure
Diesel (n=8)	34.4±14.2	30.4±8.8	36.3±14.1	39.4±10.7
LP-gas (n=23)	21.3±6.8	20.9±6.7	24.4±8.0	27.2±7.3

Table 6. NO₂ concentrations in smoking and non-smoking drivers

(unit: ppb)

	Indoor of house	Outdoor of house	Inside car	Personal exposure
Smoking driver (n=20)	26.2±11.2	24.4±8.2	29.4±11.4	31.4±9.8
Non-smoking driver (n=11)	22.1±9.7	21.4±8.5	23.8±9.8	28.4±9.6

는 각각 39.4 ppb와 27.2 ppb였으며, 운전자들의 개인노출은 디젤차량의 운전자들이 LP-gas 차량의 운전자들보다 통계학적으로 높았다($p=0.001$). 또한 차량 실내의 이산화질소 농도는 디젤차량에서 32.3 ppb, LP-gas차량에서 24.4 ppb였다. 디젤을 이용하는 차량은 고온·고압에서 연소하므로 열적 질소산화물(thermal NO_x)의 발생이 다른 차량에 비해 상대적으로 높으며 따라서 디젤차량의 운전자들이 이산화질소 LP-gas 차량의 운전자들보다 높게 노출된 것으로 생각된다(Table 5).

(3) 흡연과 비흡연 운전자 비교

이산화질소는 흡연에서도 발생될 수 있기 때문에 흡연 여부에 따른 이산화질소 농도를 분석했다. 흡연과 관련하여 흡연자의 주택 실내농도를 분석한 결과 26.2 ppb였으며, 비흡연자의 주택에서는 22.1 ppb였다. 흡연과 비흡연자의 주택 실내의 이산화질소 농도는 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 또한 흡연자 차량 실내 농도 29.4 ppb는 비흡연자 차량 실내농도 23.8 ppb보다 상대적으로 높았으나 통계학적으로 차이를 보이지 않았는데, 이는 비흡연 운전자가 흡연자에 비해서 상대적으로 적었기 때문일 것으로 생각된다.

흡연 운전자가 비흡연 운전자에 비해서 이산화질소 개인노출이 높을 것으로 생각되었으나 본 연구에서는 흡연자와 비흡연자의 이산화질소 개인노출은 통계학적으로 차이를 보이지 않았다. 이 결과는 영업용 운전자들의 이산화질소 개인노출의 주된 요인은 직업적 요인에 의한 도로상에서 많은 시간을 보내고 차량들에 의한 배출가스인 것으로 여겨질 수 있으며, 또한 영업용 차량 실내에서는 가급적 운전자들이 손님을 위해 흡연을 하지 않기 때문으로 추정할 수 있다.

6. 시간가중치 평균 모델

위의 결과를 볼 때 영업용 운전자들은 대부분의 시간을 주택 실내와 차량 실내에서 보내기 때문에 실내환경(주택안과 차량안)의 농도측정으로 개인노출을 예측하는 것이 가능하였다. 공기오염물질의 누적 개인 노출

량은, 각 개인이 어떤 장소의 농도와 그 장소에서 머무른 시간을 곱하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.¹⁹⁾

$$E_c = \int_{t_1}^{t_2} C(t)dt \quad (1)$$

식 (1)을 이용하여 영업용 운전자의 누적노출량은 개인 주택 실내 및 실외의 농도와 차량 실내의 농도 및 각 장소에서 머무른 시간을 곱하여 식 (2)로 나타낼 수 있다. 식 (2)는 시간가중치 평균 모델로 정의할 수 있다.

$$P_i = (IH_i \cdot I_i + OH_i \cdot O_i + CI_i \cdot C_i) / (IH_i + OH_i + CI_i) \quad (2)$$

Where, P_i =estimated time-weighted average personal NO₂ exposure for participant i, IH_i =number of hours spent inside the home for participant i during sampling period, OH_i =number of hours spent outside the home for participant i during sampling period, CI_i =number of hours spent inside the indoor car for participant i during sampling period, I_i =measured average indoor NO₂ concentration for participant i, O_i =measured average outdoor NO₂ concentration for participant i, C_i =measured average inside car NO₂ concentration for participant I.

시간가중치 모델을 이용하여 예측한 영업용 운전자들의 농도는 평균 26.9±10.2 ppb였으며, 실제로 수동식 시료채취기를 이용하여 측정된 농도는 30.3±9.7 ppb이었다. 예측된 이산화질소 개인노출 농도와 실측된 개인노출 농도의 차이가 보인 것은 모든 미세환경 및 대기환경의 농도를 측정하지 않았기 때문인 것으로 생각된다. 예측한 농도와 실측한 농도의 상관관계수 값(R^2)은 0.89였으며, 통계학적으로 유의하였다($p<0.01$)(Fig. 4).

7. 모의실험(simulation)

시간가중치 평균 모델식을 이용하여 이산화질소의 누

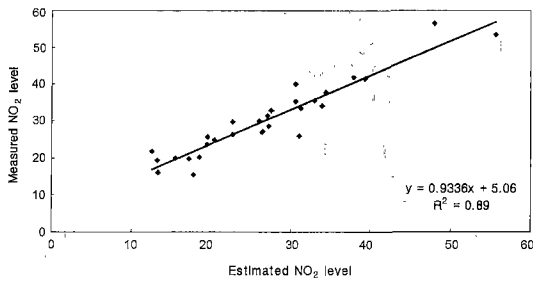


Fig. 4. Relation between estimated and measured NO₂ levels.

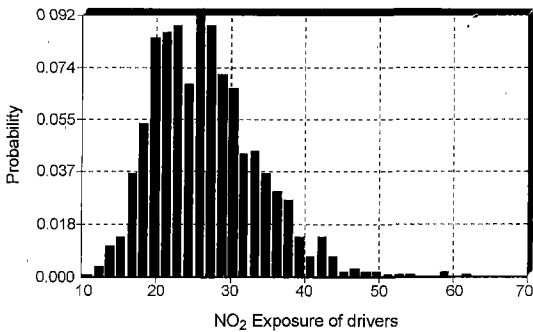


Fig. 5. Monte-Carlo simulation of NO₂ exposure of professional drivers.

도를 대수정규(log-normal)로 그리고 각 장소에서 보낸 시간을 정규분포로 가정하였고, 상업용 프로그램인 @Risk(Palispade Co.) 소프트웨어를 이용하여 Monte-Carlo 모의실험을 실시함으로써, 아산지역 및 천안지역과 비슷한 규모의 도시지역의 영업용 운전자들의 이산화질소 노출정도를 예측할 수 있었다.²⁰⁾ 예측된 운전자들의 이산화질소 개인노출 농도는 26.6±7.2 ppb였으며, 노출의 범위는 11.3~61.4 ppb로 나타났다. 모의실험 결과를 고려할 때, 영업용 운전자들은 다른 직업군에 비하여 고농도의 이산화질소에 노출될 수 있으며 따라서 차량 배출 오염물질에 고농도로 노출될 가능성이 있는 것으로 생각된다. 영업용 운전자들의 오염물질 농도를 줄이기 위해서는 다른 차종에 대해서 청정연료 사용권장 등의 정책이 시행되어야 할 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 2000년 7월 28일부터 8월 5일까지 10일간 연료로 LP-gas를 이용하는 아산개인 택시(12명) 및 천안 영업용 택시(11명), 그리고 디젤을 이용하는 차량운전자(8명)를 대상으로 이산화질소(NO₂)의 노출농도를 측정하였고, 시간활동 행태(time activity pattern)와

차량 및 주택관련 설문지 조사를 병행하여 실시하였는데, 결과는 다음과 같다.

1. 주택실내 및 실외, 차량실내와, 개인의 이산화질소 농도값은 주택실내에서 24.7±10.7 ppb, 주택 실외에서 23.3±8.3 ppb, 차량 실내에서 27.4±11.0 ppb 및 개인 노출량은 30.3±9.7 ppb였다

2. 시간활동도 다른 아산(n=14)지역과 천안(n=17)지역 운전자들의 생활행태는 아산지역은 실내에서 53.3%, 실외에서 12.3%, 차량 실내에서 34.7%와 천안지역은 실내에서 30.0%, 실외에서 12%, 차량 실내에서 58.1%였으며, 영업용 운전자들은 대부분의 시간을 실내공간인 운전과 주택 실내에서 보내는 것으로 나타났다.

3. 영업용 운전자의 NO₂ 개인노출은 운전자의 주택 실내(R²=0.55) 및 실외(R²=0.50) NO₂ 농도보다 차량 실내(R²=0.80) NO₂ 농도와 더 높은 상관성을 보였는데, 이는 영업용 운전자들은 대부분의 시간을 차량 실내에서 보내기 때문인 것으로 생각된다.

4. 디젤 이용 차량과 LP-gas 이용 차량의 이산화질소 개인노출 농도는 각각 39.4 ppb, 27.2 ppb였고, 디젤 이용 차량의 운전자들이 LP-gas 이용 차량보다 통계학적으로 높았다(P=0.001). 또한 차량 실내의 이산화질소 농도는 디젤차량에서 32.3 ppb, LP-gas차량에서 24.4 ppb였다.

5. 시간가중치 모델을 이용하여 예측한 영업용 운전자들의 농도는 평균 26.9±10.2 ppb였으며, 실제로 수동식 시료채취기를 이용하여 측정된 농도는 30.3±9.7 ppb이었다. 예측한 농도와 실측한 농도의 상관계수 값(R²)은 0.89였으며, 통계학적으로 유의하였다(p<0.01).

6. Monte-Carlo시뮬레이션의 결과로 예측된 영업용 운전자들의 이산화질소 개인노출 농도는 26.6±7.2 ppb였으며, 노출의 범위는 11.3~61.4 ppb였다.

참고문헌

- 1) Wood, J. E.: An engineering approach to controlling indoor air quality. *Environment Health Perspective*, **95**, 15-21, 1991.
- 2) 과학기술부 : 해외과학기술동향 제345호, 1999.
- 3) Fellin, P., and Otson, R.: Assessment of the influence of volatile organic compounds(VOCs) in canadian homes. *Atmospheric Environment*, **4**(22), 3581-3386, 1994.
- 4) Godish, T.: Indoor air pollution control. New York, lewis, 6-12, 1991.
- 5) Xiping, X. U., and Wang, L.: Effects of air pollution on adult pulmonary function. *Archives of Environmental Health*, **46**(4), 198-206, 1991.
- 6) 김윤신, Yukio Yanagisawa : 이산화질소의 실내외 농

- 도 및 개인피폭량에 관한 조사연구. 한국대기보전학회지, **3**(2), 33-38, 1987.
- 7) 양원호, 배현주, 김현용, 정문식, 정문호 : 주택특성에 관련된 실내 이산화질소 농도에 관한 연구. 대한위생학회지, **14**(4), 85-92, 1999.
 - 8) 김윤신, 전후민, 홍승철 : 서울시 일부 택시기사의 이산화질소 개인폭로량에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **17**(2), 9-16, 1991.
 - 9) WHO: Environmental Health Criteria 188, Nitrogen Oxides(Second Edition). WHO, Geneva, 1997.
 - 10) Bauer, M. A., Utell, M. J., Morrow, P. E., Speers, D. M., and Gibb, H. P.: Inhalation of 0.3 ppm nitrogen dioxide potentiates exercise-induced bronchospasm in asthmatics. *Am. Rev. Respir. Dis.*, **134**, 1203-1208, 1986.
 - 12) Mohensin V.: Airway responses to nitrogen oxide in asthmatic subjects. *J. Toxicol & Environ Health*, **22**, 371-380, 1987.
 - 13) Ayers, G. P., Baruch, D., Keywood M. D., and Gillett R. W.: Indoor air quality; pilot study employing low-technology methods. *Clean Air*, **33**(2), 1999.
 - 14) Ryan, P. B., Soczek, M. L., Spengler J. D.: The boston residential NO₂ characterization atudy-II. survey methodology and population concentration estimates. *Atmospheric Environment*, **22**(10), 2115-2125, 1988.
 - 15) 양원호, 이기영, 손현석, 정문호 : 시간활동도를 이용한 이산화질소 개인노출 예측 - 한국의 서울과 호주의 브리스베인의 비교연구 - 대한위생학회지, **15**(2), 10-17, 2000.
 - 16) Monn, C., Brandli, O., Schindler, C., Ackermann-Liebrich, U., Leuenberger, P., and SAPALDIA Team: Personal exposure to nitrogen dioxide in switzerland. *the Science of the Total Environment*, **215**, 243-251, 1998.
 - 17) Yukio Yanagisawa and Hajime Nishimura: A badge-type personal sampler for measurement of personal exposure to NO₂ and no in ambient air. *Environment International*, **8**, 235, 1982.
 - 18) World Health Organization (WHO) : Air quality guidelines for europe. European series No. **23**, WHO, Copenhagen, Denmark, 297-310, 1987.
 - 19) Kiyoun Lee, Wonho Yang, and Neville Bofinger : Impact microenvironmental nitrogen dioxide concentrations on personal exposure in Australia, *Journal of Air & Waste Management Association*, **50**, 1739-1744, 2000.
 - 20) Smith, R. L.: Use of Monte Carlo simulation for human exposure assessment at a superfund site. *Risk analysis*, **14**(4), 433-439, 1994.